

Г.А. ДОМАНСКАЯ, ст. преподаватель ДНУЖТ (г. Днепропетровск)

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

В статті запропонований підхід до реалізації енергозберігаючих технологій тягового електропостачання залізниць, що використовує нечіткі моделі і методи представлення, аналізу і вибору управлінь.

In article approach is offered to realization of energy conservation technologies of hauling power supply of railways, using unclear models and methods of presentation, analysis and choice of managements

В статье предложен подход к реализации энергосберегающих технологий тягового электроснабжения железных дорог, использующий нечеткие модели и методы представления, анализа и выбора управлений. Такой подход позволяет использовать разнородные и ограниченные данные для принятия решения о выборе рациональных режимов системы тягового электроснабжения (СТЭ) с учетом режимов работы питающих их энергосистем. На этапе формирования модели нечеткого управления учитывается то, что на режимы СТЭ влияют множество неопределенных факторов. Среди них, такие как режим работы электротяговых нагрузок, уровни напряжений тяговых подстанций, схемы питания тяговых сетей. Несмотря на наличие такого постоянного фактора, как профиль пути, от которого непосредственно зависит режим ведения поезда, рациональное управление уникально для каждой поездки.

Целью статьи является иллюстрация метода автоматизированного формирования баз знаний экспертной системы (ЭС) для выбора энергосберегающих режимов работы ЭС на основе имитационного моделирования и эксплуатационных наблюдений.

Основой интеллектуализации систем управления СТЭ является ЭС [1...3].

Особый интерес вызывают ЭС, обладающие способностью автоматического приобретения каузальных и эвристических знаний [4,5]. В литературе такие ЭС называют самообучающимися или использующими механизм нечеткого логического вывода. Перспективным направлением автоматического приобретения знаний является синтез эвристических знаний на основе использования каузальных и ретроспективных знаний.

Общая схема работы ЭС, совмещающей применение всех типов знаний, выглядит следующим образом. При обнаружении режима работы СТЭ с повышенными потерями энергии делается попытка его устранения

при помощи эвристик. В случае успеха работа ДЭС прекращается, в случае неудачи приводится в действие каузальный механизм вывода, который, как считается, в любом случае должен устранить неисправность. Случай работы каузального механизма вывода оформляется в виде эвристики, которая заносится в базу эвристических знаний. Очевидно, что при повторном возникновении этого же режима работы СТЭ он будет обработан при помощи этой эвристики, что более быстро и эффективно.

Таким образом, осуществляется синтез эвристик с помощью каузальных знаний. При этом такой синтез может быть осуществлен даже на этапе проектирования системы путем использования математической или имитационной модели поведения системы электроснабжения при возникновении различных ситуаций. В правильно построенной на основе описываемого принципа ЭС преобладает тенденция редкого применения каузального механизма вывода, что свидетельствует о повышении качества накапливаемых этой ЭС эвристических знаний. Эта тенденция отражает реальную деятельность экспертов при эксплуатации электротяговых сетей, когда они по мере увеличения сроков эксплуатации для выбора необходимого режима работы сети, минимизации электропотребления, устранения неисправностей реже пользуются схемной документацией, прибегая к собственному опыту, накопленному ранее, в том числе за счет использования этих схем.

Синтез эвристических знаний на основе использования ретроспективных знаний осуществляется на основе единицы ретроспективных знаний в ЭС - примера. Например, при эксплуатации электротяговых сетей каждый успешный случай минимизации электропотребления оператором оформляется в виде примера и вводится в базу ретроспективных знаний. Эта база является исходными данными для работы механизма синтеза эвристик, который и осуществляет их преобразование в форму продукций, сцепленных в дерево или хранимых в БЭ просто в виде совокупности. Такой процесс преобразования носит название индуктивного вывода.

Обобщенная схема ЭС для реализации энергосберегающих технологий тягового электроснабжения железных дорог с учетом режимов работы питающих их энергосистем показана на рис. 1.

Предложенные алгоритмы создания баз данных ЭС можно реализовать после модернизации систем управления устройствами СТЭ на базе интегрированных систем «Гранит-ж.д.-Микро» (Украина) или АСТМУ (Россия). На базе эксплуатируемых телемеханических систем «Лисна» применение ЭС проблематично.

Ниже показана одна из задач энергосберегающих технологий – выбор рациональных режимов работы СТЭ и минимизации потерь при интенсификации перевозочного процесса.

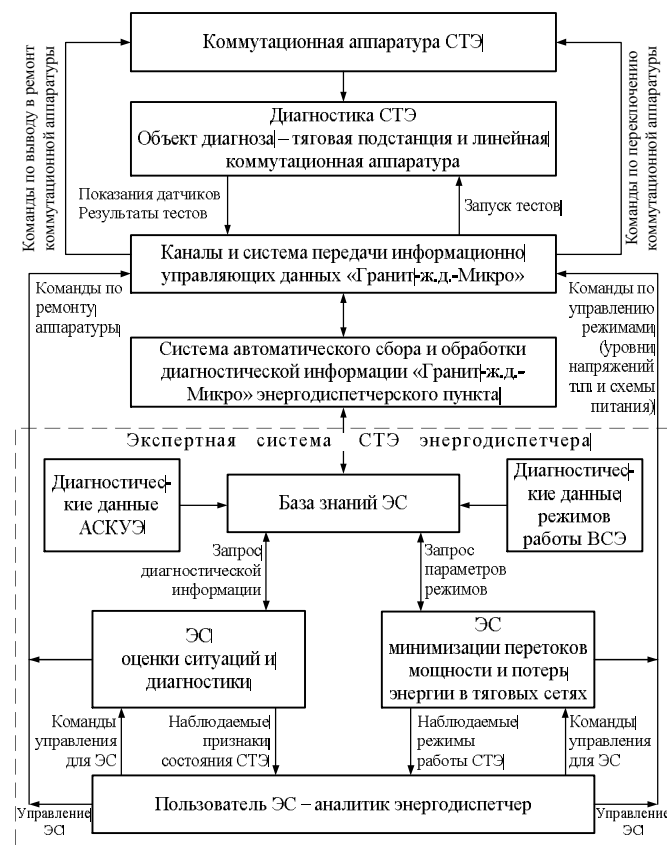


Рис. 1. Обобщенная схема экспертной системы.

В последние пять лет, намечилась тенденция роста грузопотока на железных дорогах Украины. Однако, установленные мощности СТЭ переменного тока избыточны для существующих размеров грузового и пассажирского движения. Использование избыточной мощности СТЭ приводит к увеличению удельного электропотребления. Несмотря на то, что нагрузочные потери в тяговой сети и трансформаторах снижаются при малых грузопотоках (см. табл. 1), потери холостого хода остаются неизменными, так как от нагрузки не зависят. Кроме этого при малых грузопотоках, значительно увеличиваются перетоки энергии. При этом, как видно из табл. 1, нагрузочные потери в тяговых трансформаторах выравниваются по фазам. Удельное электропотребление растет и по причине непропорционального снижения грузовых перевозок по сравнению к пассажирс-

ким.

Таблица 1 – Потери энергии в тяговом трансформаторе при малых грузопотоках

Измеряемые параметры	Суммарные потери, кВт·ч		Потери по фазам, кВт·ч		
	ΔW_k	ΔW_x	ΔW_{kfA}	ΔW_{kfB}	ΔW_{kfC}
Часовые потери энергии, в период малых тяговых нагрузок	29,0	95,0	9,0	10,5	10,0
Часовые потери энергии, в период средних тяговых нагрузок	63,5	101	22,5	15,5	28,0
Суточные потери энергии	1178	2340	346	329	477

Результаты анализа графиков электропотребления фидеров межподстанционных зон двухпутного участка переменного тока с узловой и параллельной схемой питания, тяговые подстанции которого питаются от ЛЭП 110 кВ приведены в табл. 2 В один и тот же момент времени в различных точках фиксировалась активная и реактивная энергия по фидерам и трем межподстанционным зонам. Результаты обработки графиков электропотребления для различных грузопотоков позволяют сделать вывод о том, что среднеквадратичные отклонения суммарных графиков активной и реактивной мощности нескольких межподстанционных зон составляют примерно одну треть от своего математического ожидания, в то время как среднеквадратичные отклонения графиков активной и реактивной мощности фидерных зон и тем более фидеров составляют более половины значения их математического ожидания.

Проведенные исследования указывают на необходимость рассмотрения направлений, линий одной или нескольких дорог при анализе электропотребления для правильной оценки и выбора энергоэффективных режимов работы СТЭ. Снижение неравномерности электропотребления тяговых подстанций возможно за счет регулирования районной нагрузки, изменения уровня напряжений и создания искусственных перетоков, применения рациональных масс и интервалов между поездами при составлении годовых графиков движения поездов.

В свете постановок задач, выполненных в первом разделе, важнейшей задачей является реализация энергосберегающих технологий при наращивании грузопотоков в условиях высоких темпов развития экономики страны. Заслуживают внимания два способа интенсификации перевозочного процесса: увеличение грузооборота путем применения тяжеловесного движения с сохранением количества пар поездов заданного на-

правления и увеличение количества пар поездов с выбранными энергооптимальными весами поездов. Первый способ может быть эффективным за счет резкого снижения стоимости электроэнергии при пропуске тяжеловесных поездов в ночное время. Второй способ равномерно загружает тяговые сети, что, безусловно, снижает потери энергии.

Таблица 2 – Параметры тяговой нагрузки межподстанционных зон для оценки степени неравномерности загрузки ЛЭП 110 кВ (без учета районной нагрузки и потерь в тяговых трансформаторах).

№ вар.	Суточный грузопоток, тыс. тонн	Средняя активная и реактивная мощность, потребляемая межподстанционной зоной в минуту				Средние активные и реактивные потери мощности подстанционной зоны в минуту	
		W_a , кВт	σW_a , кВт	W_p , квар	σW_p , квар	ΔW_a , кВт	ΔW_p , квар
1	391,5	121/365	63/111	96/288	44/75	2.0/6	4.3/13
2	487,5	141/422	108/172	106/318	80/137	3.3/10	7.6/23
3	891,5	214/641	92/256	156/470	85/199	6.3/19	14/42

Примечание: 1. В числителе для одной межподстанционной зоны, в знаменателе для трех. 2. Вариант 1 – обычный график движения; вариант 2 – движение с тяжеловесными поездами массой 12 тыс. тонн; вариант 3 – реализация ритмичного графика движения поездов.

Естественно, что основополагающими критериями при этом являются мощность локомотива, коэффициент сцепления колеса с рельсом, пропускная способность участка. Однако в условиях рыночной экономики и дефицита энергоресурсов было бы интересно оценить интенсификацию перевозок по критерию потерь энергии в тяговой сети с учетом режимов работы ВСЭ.

Имитационное моделирование осуществлялось для реальной фидерной зоны переменного тока с подвеской ПБСМ 70 + МФ 100, рельсами Р65, отношением времени хода поезда по времени его хода под током 1,2 – 1,8 по нечетному и 1 – 1,15 по четному пути, напряжением на шинах $27,5 \pm 1,5$ кВ. Параметры двух потоков поездов приведены в табл. 3 Интенсификация перевозок имитировалась путем замены поездов массой 4 тыс.т тяжеловесными поездами от 6 тыс.т до 36 тыс.т.

Таблица 3 – Количество поездов и их массы

Масса поезда, т	600	1000	1200	2000	2500	3000	3500	4000
N1, шт.	6/6	42/42	12/2	10/11	5/19	8/10	7/2	5/3
N2, шт.	12/12	42/42	24/4	20/22	10/38	10/20	14/4	10/6

Примечание: 1. В числителе – нечетное, в знаменателе – четное направление.
2. N1, N2 – количество пар поездов различных типов для двух вариантов грузопотоков среднего и интенсивного.

На рис. 2 показаны результаты решения одной из задач – прогноз изменения электропотребления и потерь энергии при различных грузопотоках.

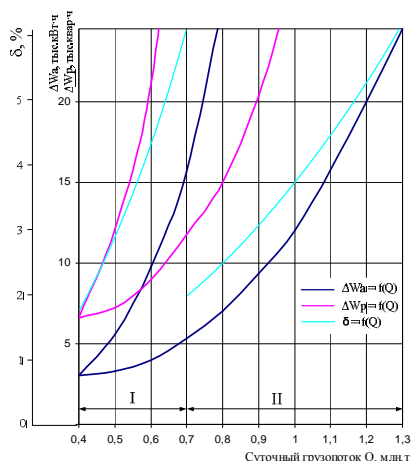


Рис. 2. Суточные активные и реактивные потери и процент реактивных потерь в тяговой сети межстанционной зоны двухпутного участка при изменении грузопотока: I – увеличение грузопотока за счет интенсификации массы тяжеловесных поездов; II – увеличение грузопотока за счет количества поездов при ритмичном графике

По результатам эксперимента на имитационной модели получены зависимости активных и реактивных расходов и потерь энергии, процента активных потерь $W_a = f(Q)$, $W_p = f(Q)$, $\Delta W_a = f(Q)$, $\Delta W_p = f(Q)$, $\delta = f(Q)$, а также средние и эффективные токи фидеров в зависимости от суммарной передвигаемой массы грузов по участку в четном и нечетном направлении за сутки (см. табл. 4).

Таблица 4 – Значения средних и эффективных токов фидеров для узловой схемы

Средние и эффективные токи фидеров	Суточная суммарная масса поездов в четном и нечетном направлениях	
	Грузопоток 679,5 тыс.т	Грузопоток 699 тыс.т
IA1	134,4 – j 97,3	128,9 – j 100
IA2	60,9 – j 50,0	62,2 – j 55,5
IB1	126,74 – j 105,6	130,6 – j 110,8
IB2	65,4 – j 55,7	77,0 – j 66,8
IAЭ1	318,5	186,3
IAЭ2	114,7	96,8
IBЭ1	335,1	202,4
IBЭ2	149,7	122,2

Выводы:

Увеличение перевозимой по двухпутному участку массы с 391,5 тыс.т до 699 тыс.т в сутки при различных способах реализации графика движения поездов и интенсификации их веса приводит к существенно разным потерям энергии. При ритмичном графике и соответствующих типах поездов потери энергии снижаются минимум в 3 раза.

Предельные возможности системы электроснабжения переменного тока 25 кВ обеспечивают суточный грузопоток на двухпутном участке до 1275 тыс.т. Применение же схем параллельного соединения контактных подвесок при интенсификации перевозок позволит уменьшить активные потери энергии на 8 – 15 %, а реактивные на 7 – 11 %.

Список литературы: 1. Лорьер Ж. Системы искусственного интеллекта. – М.: Мир, 1991. – 586с. 2. Таунсенд К., Фохт Д. Проектирование и программная реализация экспертных систем на персональных ЭВМ: Пер. с англ. – М.: Финансы и статистика, 1990. – 320 с. 3. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. – М.: «Горячая линия». - 2004. 4. Землянов В.Б. Енергооптимальні технології аналізу та регулювання електроспоживання на тягу поїздів: Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук: 05.22.09 / Дніпропетровський держ. техн. ун-т з д. тр-та., – Дніпропетровськ, - 2000. – 20 с. 5. Франклин Д. и др. Технология ЭС военных применений: избранные примеры. – ТИИЭР. – 1988. т.76 №10. - С. 18 – 88.

Надійшла до редколегії 20.11.07